

# レーザ顕微鏡による液晶の分子配向の解析に関する研究

著者	鵜川 雄成
号	2458
発行年	1999
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/7731">http://hdl.handle.net/10097/7731</a>

氏 名	う かわ ゆう せい 鵜 川 雄 成
授 与 学 位	博 士 (工学)
学 位 授 与 年 月 日	平成 1 2 年 3 月 2 3 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 4 条第 1 項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 電子工学専攻
学 位 論 文 題 目	レーザ顕微鏡による液晶の分子配向の解析に関する研究
指 導 教 官	東北大学教授 内田 龍男
論 文 審 査 委 員	主査 東北大学教授 内田 龍男 東北大学教授 宮城 光信 東北大学教授 伊藤 弘昌 東北大学助教授 宮下 哲哉

## 論 文 内 容 要 旨

### 第1章 序論

液晶デバイスは液晶のもつ光学異方性を利用するものであり、一般には配向処理を行った配向膜を有する基板に、液晶材料を導入した構造をもつ液晶セルから構成されている。この液晶セルで得られた液晶分子ダイレクタの配向に伴う光学特性の変化を用いることにデバイスの基礎を置いている。したがって、液晶分子の配向方向はデバイス特性に直接影響するため、その方位の測定は非常に重要である。しかし従来の配向解析法は主に透過光測定であることや、光学系の焦点の奥行き特性が考慮されていないことから、測定点以外の液晶層における配向の影響を受け、液晶デバイス全体の配向の平均値を測定するものである。したがって複雑な配向の分子配向分布、また反射型液晶デバイスにおける液晶分子の配向分布の測定は困難である。そこで、反射型共焦点レーザ走査顕微鏡を用いた液晶分子の配向方向測定法に着目した。共焦点顕微鏡は合焦点以外の部分からの光は極端に減少するという、他にはない非常に優れた特徴を有する。また点対点の結像により、面内の任意の点の光強度情報が高解像度で容易に取得できるという特徴を持つ。この手法はこれまでその特徴を生かして、液晶セルの任意位置における液晶分子の配向方向が測定できると言われており、これまでにない有効性の高いものとして期待される。従来型顕微鏡ではできなかった、ミクロな領域での光強度の解析が可能である。しかし、測定原理や信頼性が明らかにされていなかったことから、本研究ではこの反射型共焦点レーザ走査顕微鏡についてその測定原理の解明を試みた。次いでその結果に基づいて、これまで困難であった複雑な配向を有する液晶デバイスの配向解析を行い、その有効性を明らかにした。

### 第2章 共焦点顕微鏡を用いた散乱光による液晶分子の配向解析

従来の共焦点顕微鏡を用いた液晶分子の配向解析では、バルクの任意位置での配向解析が可能とされていることから、液晶の熱揺らぎによる散乱光を検出している可能性が最も高いと考えられるため、本章では液晶の散乱特性を詳細に検討した。理論解析では液晶分子の光軸方向に平行及び垂直な方位に直線偏光が入射した場合に散乱強度が最大となることから、散乱光の偏光特性を測定することによって液晶分子の配向方位を求めることが示唆される。すなわち、共焦点顕微鏡を用いてバルクの任意の位置に合焦し、合焦点位置からの散乱光の偏光特性を測定することができれば、他の焦点位置以外の配向に影響されない測定が可能である。そこでこのことを念頭におき、従来の共焦点顕微鏡を用いた配向解析の追試実験を行った。その結果、従来の共焦点顕微鏡を用いた方法では、液晶セルにおける液晶界面の反射光が検出され、その強度の方が散乱光より桁違いに強いいため、散乱光の解析はできないことがわかった。

そこで、暗視野法を用いて反射光をカットし、液晶の散乱光が測定できるようにした。これによってその偏光特性から液晶分子の配向方向を決定することができると新しい方法を考案した。その共焦点顕微鏡の光学系を図 1 に示

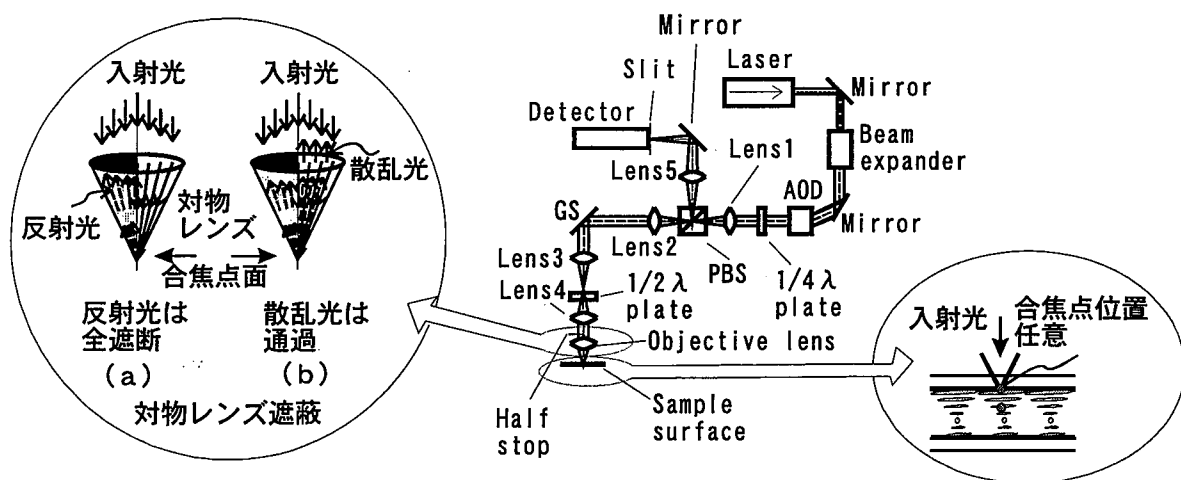


図1 反射型共焦点レーザー顕微鏡の光学系(暗視野)

す。共焦点光学系の対物レンズ瞳に開口を半分遮光する遮蔽板を設置し、界面で発生する正反射光を図 1(a)のように遮断するが、散乱光は図 1(b)のように開口から射出する暗視野の光学系とした。この光学系を用いて測定した、任意のバルク位置でねじれ角が異なるツイスト配向液晶セルの散乱光の偏光特性を図 2 に示す。実験では焦点位置を任意に変えて測定を行った。実験結果と計算結果は一致し、散乱強度の最大値が示す直線偏光軸の角度は液晶分子の配向方向を表している。しかし、バルクにおける配向方位は界面

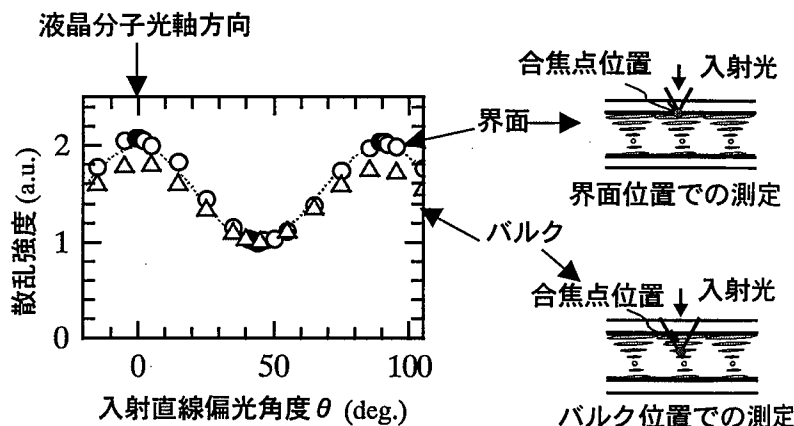


図2 散乱強度の偏光特性

における配向方位に変換されることがわかった。液晶分子のねじれに沿って、入射直線偏光軸が回転し、バルクで発生した散乱光も検出器に戻る過程で液晶分子のねじれに沿って、偏光特性が界面の配向方位に集約されてしまうためである。また、測定できるのは方位角のみであること、ねじれ配向の場合はそのねじれがモーガン条件を満たすような緩やかな場合に限られること、極角方向の測定はセルを傾斜させる必要があるためにガラス基板による収差が生じて正しく測定できないことなどを明らかにした。したがって測定できるのは界面の液晶の方位角のみであるが、液晶の後方散乱光を測定するため、従来の透過光を測定する方法では配向解析が不可能であった反射板を有する液晶セルにも用いることができる点は本方式の特徴であり、有効性が高いと考えられる。

### 第3章 共焦点顕微鏡を用いた反射光による液晶分子の配向解析

前章の結果から、共焦点顕微鏡を用いた配向解析は液晶界面において有効なことが明らかとなった。そこで本章では、液晶界面において発生する反射光を測定し、液晶分子の配向解析を行う方法を考案した。前章では暗視野を用いた共焦点顕微鏡であるのに対して、本章における方法では明視野を用いて界面での反射光の偏光特性を測定し、液晶界面での配向解析を行う。すなわち図 1 において遮蔽板を用いない共焦点顕微鏡によって実験を行った。液晶界面における反射光は液晶の光学異方性により、入射直線偏光軸角度によってその強度が変化し、液晶分子ダイレクタの方位において極値を持つことから、極値の偏光軸角度を得ることによって配向方位を知ることができる。ねじれピッチが非常に短いツイスト配向を有する液晶セルの界面反射光の偏光特性測定結果を図 3 に示す。実験結果は計算

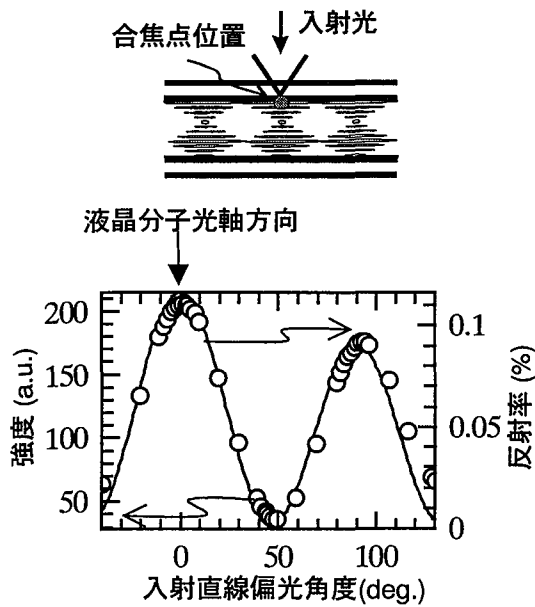


図3 界面反射光の偏光特性

結果と一致し、反射光の最大強度が示す直線偏光の角度は液晶分子ダイレクタの配向方向を表している。この結果は共焦点顕微鏡を用いた界面反射光測定により、液晶セルの厚さが十分厚い場合について、バルクの配向に影響されことなく合焦点位置界面における液晶分子の配向解析が可能であることを示している。これまでにない優れた特徴を有する唯一の配向解析法である。バルクの配向状態に影響を受ける合焦点以外の反射光は共焦点光学系により除去されるためであり、従来の透過光による測定や、従来型の光学顕微鏡では不可能であったことが、本測定法により可能となった。今後液晶ディスプレイの高性能化に伴い、複雑な配向をもつ液晶セルが必要になると考えられ、本方法はそれに対応できる配向測定法として有効性が高いと考えられる。

さらに、液晶デバイスが本来持つ狭視野角という問題を解決するために、近年液晶薄膜を用いた光学補償

フィルムの研究が注目されている。このフィルムは液晶薄膜中の断面方向における液晶分子の配向変化を作用させて視角改善を行うため、その配向の様子を解析することは非常に重要である。しかし、これまでは透過光の測定によるリタデーション測定より配向を推定する方法しかなく、直接配向を解析することはできなかった。そこで本章では反射光測定による配向解析法を、 $1.5\mu\text{m}$  の薄い液晶薄膜から成る光学補償フィルムに応用し、液晶薄膜断面における液晶分子の配向分布解析を行った。共焦点顕微鏡はレーザー光を光源とする走査型であるため、面内の任意点における光強度を測定することが非常に容易であり、ビームスポット径が  $0.4\mu\text{m}$ 、走査間隔が  $0.14\mu\text{m}$  と解像度が高いため、反射光測定によって、直接配向分布を解析することが可能である。図 4 に示すような液晶薄膜断面の任意の地点における反射光の偏光特性を測定し、液晶分子のダイレクタ方位を示す反射光強度が最も大きい偏光軸の角度をプロットしたものを図 5 に示す。この結果から、液晶薄膜の配向膜界面付近から自由界面に向かって、液晶分子のダイレクタ方位が連続的に変化していることを初めて明らかにした。液晶の弾性体理論から計算して得られる配向分布で配向方位が厚さ方向に対して連続的に変化しているのは、液晶層がハイブリッド構造を有している場合と考えられる。図 5 の実線はその配向計算の結果を示す。実験結果と一致することから、この液晶薄膜の分子配向はハイブリ

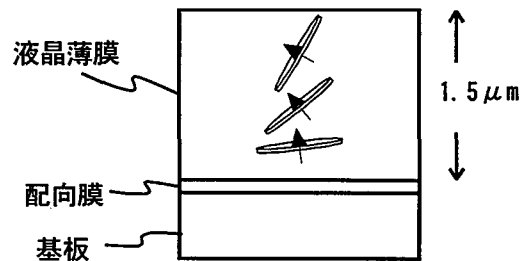


図4 液晶薄膜を用いた光学補償フィルム断面

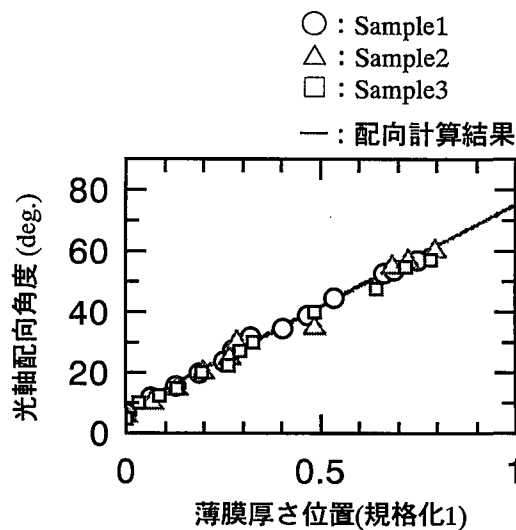


図5 液晶薄膜中の光軸配向分布

ッド構造であることが明らかとなり、この測定法が応用上極めて有効性の高い方法であることが実証された。液晶ディスプレイデバイスの大型化に伴い広視野角化の傾向が進む中、このような液晶薄膜を用いた光学補償フィルムは今後ますます重要となり、さらに複雑な配向をもつ液晶薄膜も必要になってくるものと考えられる。設計通りの光学補償性能を有するためには、液晶薄膜の配向構造は常に把握されてなければならない。したがって本方法は液晶薄膜の設計・作製後、直接配向構造を測定できる方法として、重要な役割を果たすものと考えられる。またこの配向解析法は液晶薄膜だけではなく、その他の光学異方性を有する高分子薄膜等にも応用が可能であり、光学異方性フィルム全般での応用が期待される。

#### 第4章 結論

本研究にて得られた結果を総括して述べている。

## 論文審査結果の要旨

情報化社会の進展と共に高度な液晶ディスプレイの重要性が高まっているが、液晶デバイスでは液晶分子の配向解析が極めて重要である。その配向測定法の一つとして、反射型共焦点レーザ走査顕微鏡を用いる方式は、液晶層の任意位置における液晶分子の配向を求めることができる可能性があるとの報告があり、有効性の高い方式として強い関心が寄せられていた。しかし、測定原理や信頼性が明らかにされておらず、その解明が強く望まれていた。そこで著者はこの測定原理を明らかにすると共に、問題点の改善や測定精度の解析を行い、共焦点顕微鏡による配向解析法を確立し、その特徴を明らかにした。本論文は、その成果をまとめたもので、全編4章から成る。

第1章は序論であり、本研究の背景と目的について述べている。

第2章では、反射型共焦点レーザ走査顕微鏡によって液晶層の任意位置における配向解析が可能とされていることから、液晶の熱揺らぎに伴う散乱光が重要な役割を担っている可能性が高いと考え、これについて詳細に検討している。その結果、液晶の後方散乱光強度と比較して液晶界面における正反射光強度の方が著しく高いために、散乱光の測定は不可能であることを明らかにした。次いで著者はこの問題を解決するために共焦点顕微鏡に暗視野法を導入した新しい配向解析法を考案して微弱な散乱光の測定を可能とした。また、これによって液晶の配向方位の測定が可能となることを明らかにした。ただし、ねじれ配向を伴う場合はそのねじれがMauguin条件を満足するような緩やかな場合に限られること、この場合はねじれに沿って入射光と散乱光の偏光が回転するために、結局測定されるのが表面の配向方位と同じ方向となること、極角方向の測定はセルを傾斜させる必要があるためにガラス基板による収差が生じて正しく測定できないことなどを明らかにした。従って、測定できるのは界面の液晶の方位角のみであるが、従来測定できなかった反射型液晶デバイスにも用いることができる点は本方式の特長であり、その有効性を高く評価することができる。

第3章では、液晶界面における正反射光を測定し、その偏光方向に対する反射光強度の依存性から液晶分子の配向方位を決定する方法を提案している。この方法では、液晶層が十分厚ければ後ろ側の界面からの反射光の影響が無視できるために手前の界面の配向方位を容易に決定することができる。この方法は、ねじれ配向を有する液晶セルでMauguin条件を満足していなくても測定可能であるという優れた特長を有している。さらに著者は、この方法の面内空間分解能が極めて高いことに着目し、 $1.5\text{ }\mu\text{m}$ 程度の薄い高分子液晶薄膜から成る光学補償フィルムの断面の分子配向を直接測定することを試みている。その結果、従来強く望まれていた、光学補償フィルムの配向分布が初めて明らかにされ、この測定法の有効性が実証された。この成果は高く評価することができる。

第4章は結論である。

以上、要するに本論文は、反射型共焦点レーザ走査顕微鏡を用いた液晶分子の配向測定法について、初めてその測定原理、測定可能な条件および測定精度等を明らかにすると共に、その高い空間分解能を利用した液晶分子の配向の新しい測定法を確立したものであり、光学および電子工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。